

# Stan awaryjny stalowej konstrukcji dachu wskutek przestrzennej współpracy jej elementów

Dr hab. inż. Eugeniusz Hotała, mgr inż. Piotr Hotała, Politechnika Wroclawska

## 1. Wprowadzenie

Stężenia w stalowych konstrukcjach kratowych przekryć dachowych hal są niezbędne, szczególnie w przypadkach zainstalowania w tych halach suwnic pomostowych lub podwieszonych. Płaskie kratownice dachowe, stanowiące najczęściej rygle ram poprzecznych hal, mają niewielką sztywność ze swojej płaszczyzny, dlatego wymagane jest stosowanie pionowych stężeń poprzecznych co najmniej w środku rozpiętości tych kratownic (rys. 1, 2). Zdarza się jednak niekiedy, że wbrew założeniom projektowym o płaskich ustrojach nośnych takich ram, ciągłe pionowe stężenia poprzeczne kratowych wiązarów dachowych wywołują efekty przestrzennej współpracy tych płaskich ustrojów nośnych. Ciągłe stężenia poprzeczne płaskich kratownic (na przykład SP1, SP2 – rys. 2 i 4) tworzą razem z tymi kratownicami przestrzenną konstrukcję rusztową, a więc wrażliwą na zróżnicowane osiadania [1] lub zróżnicowane podatności podpór tych kratownic [2]. Taka nieprzewidziana zmiana schematu statycznego w trakcie realizacji lub eksploatacji obiektu, prowadzi często do niekorzystnego rozkładu obciążeń połaci dachowej na poszczególne kratownice dachowe, powodując ich uszkodzenia, a nawet zagrożenia awaryjne całej konstrukcji dachowej [2], [3]. W artykule przedstawiono

jeden z takich przykładów zagrożenia awaryjnego stalowej konstrukcji dachowej, w której przestrzenna współpraca, wywołana ciągłością stężeń poprzecznych wiązarów kratowych i nierównomiernym osiadaniem fundamentów, spowodowała przeciążenia i uszkodzenia tej konstrukcji.

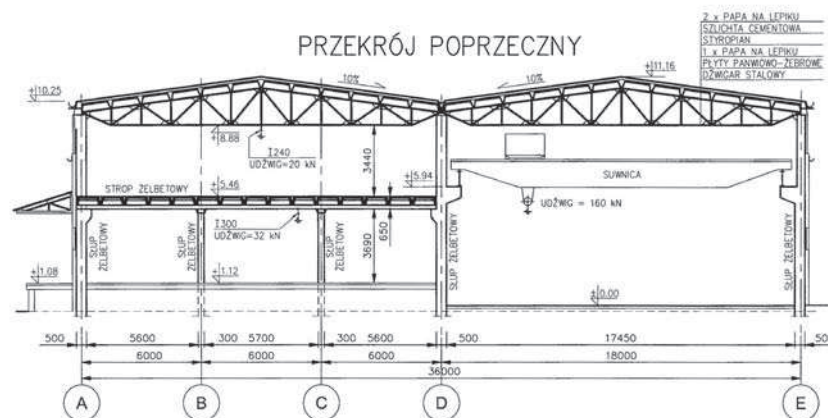
## 2. Charakterystyka techniczna stalowej konstrukcji dachu

Dwunawowa hala magazynowa (rys. 1) eksploatowana jest intensywnie ponad 30 lat. Na żelbetowych słupach ram poprzecznych oparte są stalowe wiązary kratowe W1, W2 (rys. 2 i 3) o rozpiętości 18 m. Konstrukcja hali jest zdyktowana w środku swej długości, a połać dachowa jest stężona (rys. 2) zgodnie z wymaganiami [4]. Na pasach górnych wiązarów kra-

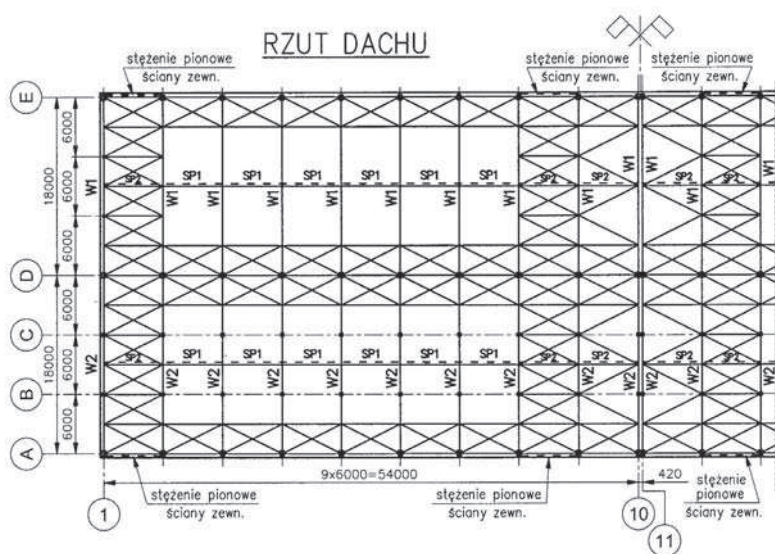
towych ułożone są żelbetowe płyty panwiowe, które tworzą sztywną tarczę pokrycia dachowego. Powłoki antykorozyjne stalowej konstrukcji dachu są utrzymane w dobrym stanie technicznym. Obiekt ma charakter magazynowy i eksploatowany był bardzo intensywnie. W różnych częściach posadzki hali w nawie D – E składowano ciężkie elementy, głównie przy słupach w osiach D i E (rys. 1).

## 3. Deformacje stężeń i uszkodzenia kratownic dachowych

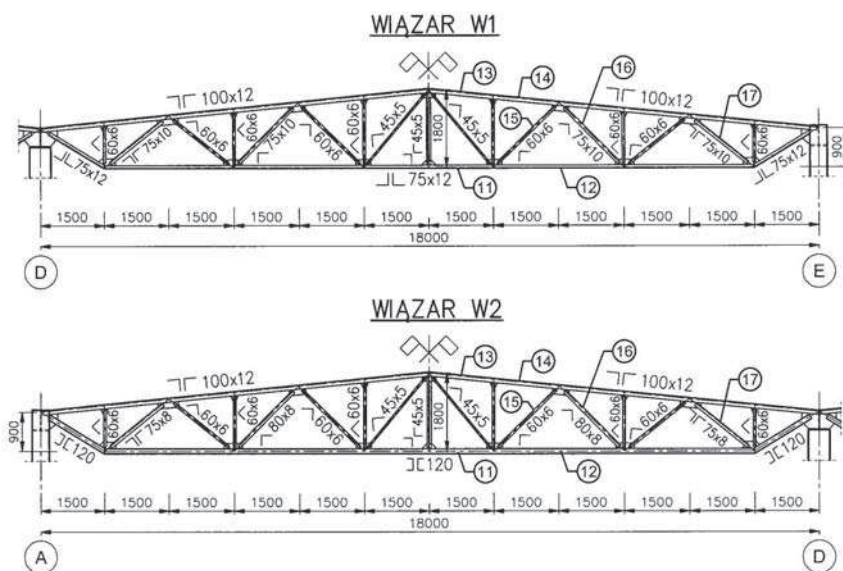
Podczas rutynowego przeglądu stanu technicznego zwrócono uwagę na znaczne boczne wygięcia pasów dolnych stężeń poprzecznych wiązarów (rys. 5) w ponad 30 % stężeń SP1 i SP2. Szczegółowa inwentaryzacja uszkodzeń stalowej konstrukcji dachowej wykazała



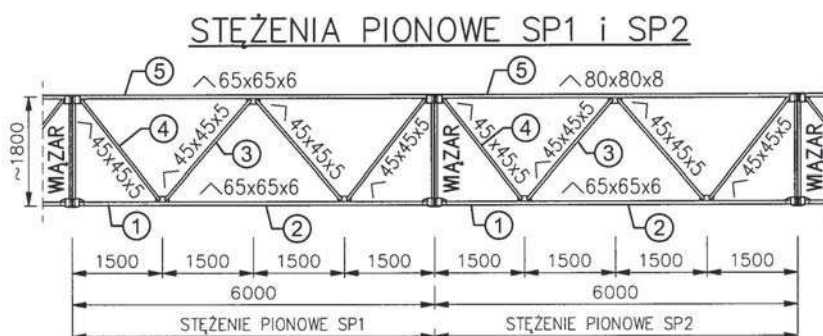
Rys. 1. Przekrój poprzeczny dwunawowej hali magazynowej



**Rys. 2.** Rzut konstrukcji dachu hali z zaznaczeniem stężeń pościowych i stężeń poprzecznych SP1, SP2



**Rys. 3.** Geometria i profile kratowych wiązarów dachowych W1, W2. Zaznaczono numery wybranych prętów



**Rys. 4.** Geometria i profile stężeń poprzecznych wiązarów SP1, SP2. Zaznaczono numery wybranych prętów

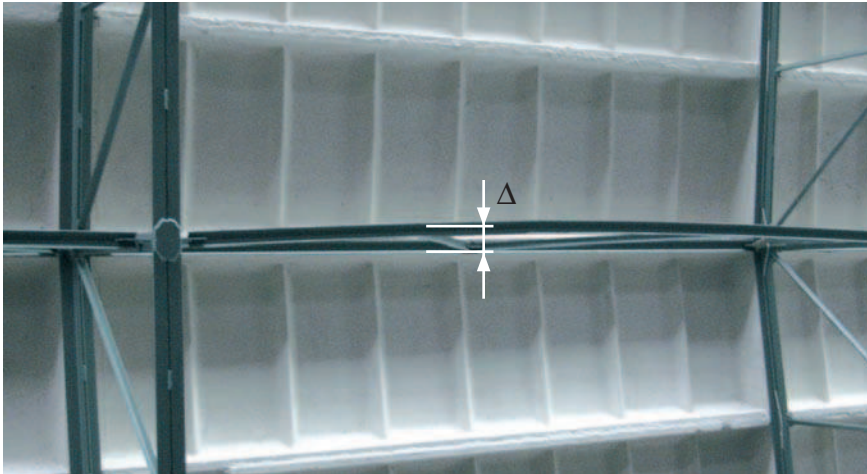
również deformacje wyboeczeniowe w niektórych prętach wykratowania tych stężeń (rys. 6), a w kilku przypadkach stwierdzono również wyraźne objawy wyboeczenia prętów wiązarów kratowych W1 i W2 (rys. 7).

Przeprowadzone analizy statyczno-wytrzymałościowe kratownic dachowych W1, W2 jako ustrojów płaskich wykazały, że wyboeczenie dotyczyło często tych prętów wykratowania, które były nominalnie rozciągane lub nieznacznie ściskane. Mając na uwadze opisany wcześniej podobny przypadek deformacji stężeń poprzecznych i prętów kratownic [2], wykonano inwentaryzację osiadań fundamentów słupów ram poprzecznych, na których oparte są kratowe wiązary dachowe.

#### 4. Ocena wpływu osiadań fundamentów na powstałe uszkodzenia konstrukcji

Ocena różnic osiadań fundamentów na podstawie pomiarów geodezyjnych poziomów głowic słupów w osiach A, D i E była zadaniem trudnym, gdyż nie zachował się powykonawczy operat geodezyjny sprzed 30 laty. W oszacowaniu różnic w poziomach oparcia poszczególnych wiązarów dachowych, powstałych wskutek nierównomiernego osiadania fundamentów słupów, pomocne okazały się wyniki pomiarów geodezyjnych podtorza suwnicy  $Q = 160$  kN w nawie D – E oraz belek wciągników jednoszynowych w nawie A – D, przeprowadzonych przed 16 laty.

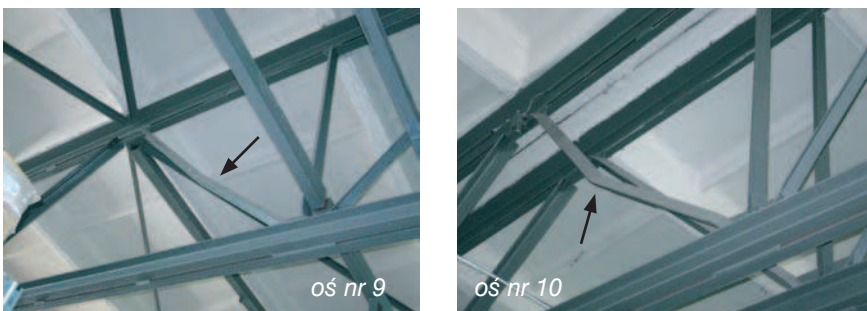
Pomierzone różnice w poziomach podparć wiązarów dachowych, a wynikające z nierównomiernych osiadań poszczególnych fundamentów słupów, okazały się w niektórych rejonach hali bardzo duże (rys. 8). Różnice te są kilkakrotnie większe od aktualnych dopuszczalnych odchyłek montażowych dla konstrukcji stalowych [5]. Wpływ na tak zróżnicowane osiadania fundamentów miały z pewnością niejednorodne i zmieniające się



**Rys. 5.** Deformacje (wychylenie boczne  $\Delta$ ) pasa dolnego stężenia poprzecznego SP1 w nawie D – E



**Rys. 6.** Deformacje wyboczeniowe prętów wykratowania stężeń poprzecznych SP1 w nawie A – D

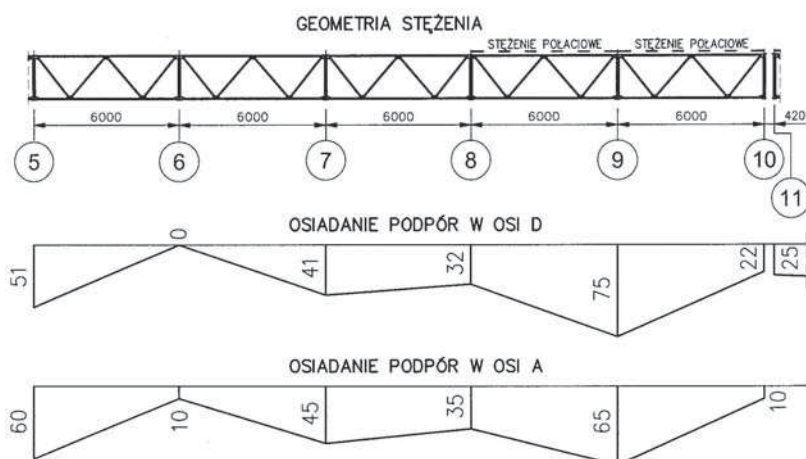


**Rys. 7.** Deformacje wyboczeniowe krzyżulców kratownic W2 w nawie A – D w osi nr 9 i 10 (nr 15 na rysunku 3)

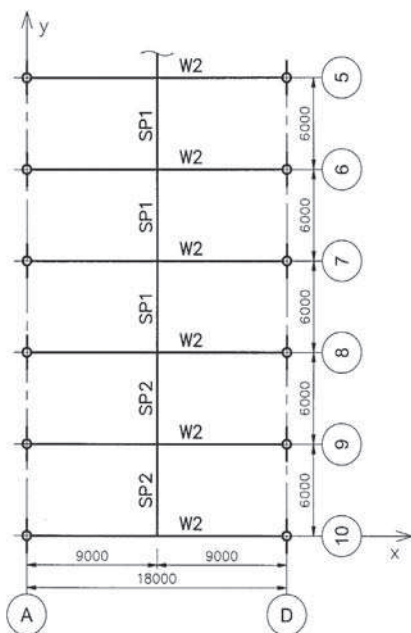
warunki gruntowe w rejonie posadowienia hali oraz bardzo duże zróżnicowanie obciążeń posadzek i stropów magazynu w rejonie poszczególnych słupów. Ocenę wpływu zróżnicowanych osiadań na powstanie dodatkowych sił w prętach kratownic dachowych oraz na wystąpienie nieoczekiwanych sił w prętach stężeń pionowych wiązarów, przeprowadzono na podstawie analiz statycznych przestrzennego układu prętowego, składającego się z wią-

zarów kratowych w osiach 6, 7, 8, 9 i 10 wraz ze stężeniami pionowymi SP2 i SP1 tych wiązarów (rys. 9). W takim przestrzennym układzie wprowadzono oddziaływanie zewnętrzne w postaci osiadania podpór o wartościach z rysunku 8. Wyniki analiz statyczno-wytrzymałościowych wybranych prętów kratownicy W2 w osi nr 8 w nawie A – D z uwzględnieniem nierównomiernego osiadania podpór (wg rys. 8) przedstawiono w tabeli 1. Schemat statyczny kratownicy

w układzie płaskim uwzględniał ciągłość pasa dolnego i górnego, dlatego pręty tych pasów były również zginane niewielkim momentem, co uwzględniono w normowym warunku nośności [4]. Pręty wykratowania zamocowane były przegubowo do pasów kratownicy. W analizach nośności prętów kratownic w nawie A – D, przedstawionych w tabeli 1, nie uwzględniono obciążenia od wciągnika jednoszynowego  $Q = 20$  kN (rys. 1), gdyż przyjęto, że wciągnik ten będzie wyłączony z eksploatacji w okresach zalegania na dachu śniegu, do czasu wykonania napraw i wzmocnienia konstrukcji dachowej. Wyraźne przeciążenie krzyżulca nr 15 w kratownicy w osi nr 9 było przyczyną utraty jego stateczności (rys. 7). Wzrosty sił osiowych w wielu prętach kratownicy W1 w osi nr 8 są dość duże i mogą zagrażać bezpiecznej eksploatacji konstrukcji dachowej w przypadku wystąpienia ponadnormatywnych opadów śniegu lub w przypadku dalszego postępu nierównomiernych osiadań fundamentów. W tabeli 2 przedstawiono wartości sił w wybranych prętach stężeń poprzecznych wiązarów dachowych w nawie A – D, powstałych wskutek nierównomiernego osiadania podpór tych wiązarów. Bardzo duże przekroczenia nośności ściskanych prętów stężeń, przedstawione w tej tabeli, są tylko teoretyczne, gdyż pręty te wyłączyły się już częściowo z kratowego, przestrzennego ustroju rusztowego wskutek wyboczenia. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2, wyboczenie wielu prętów stężeń nastąpiło przy znacznie mniejszych różnicach osiadań niż stwierdzonych obecnie. Tak więc ciągłe stężenia poprzeczne wiązarów straciły częściowo swoją pierwotną ciągłość, a niekorzystne skutki przestrzennej współpracy stężeń i wiązarów dachowych zostały obecnie w znacznym stopniu zredukowane. Trudno jednak precyzyjnie ocenić stopień tej redukcji.



**Rys. 8.** Różnice w poziomach podparć wiązarów we fragmencie nawy A – D, wywołane osiadaniami fundamentów słupów [mm]. Różnice odnoszono do poziomu głowicy słupa w rzędzie D w osi nr 6



**Rys. 9.** Schemat fragmentu realnego rusztu dachowego w nawie A – D

Zaproponowane tymczasowe rozwiązanie usunięcia zagrożenia awaryjnego dachu w przypadku realnego zagrożenia dużymi opadami śniegu przedstawiono na rysunku 10. To tymczasowe rozwiązanie polega na prostym przzerwaniu ciągłości stężeń i pozostawieniu pełnych stężeń poprzecznych w co drugim polu międzywiązarym.

Docelowe rozwiązanie, eliminujące niekorzystne skutki przestrzen-

nej współpracy stężeń i wiązarów, uwzględnia potrzebę ciągłego połączenia pasów dolnych kratownic dachowych w nawie D – E, z uwagi wymagania normy [4], wynikające z eksploatacji suwnicy o udźwigu większym niż 150 kN. Ciągłość stężeń poprzecznych będzie przerwana w co drugim polu poprzez usunięcie części ich wykratowania. Naprawione zostaną też uszkodzone pręty wiązarów dachowych.

### 5. Wnioski

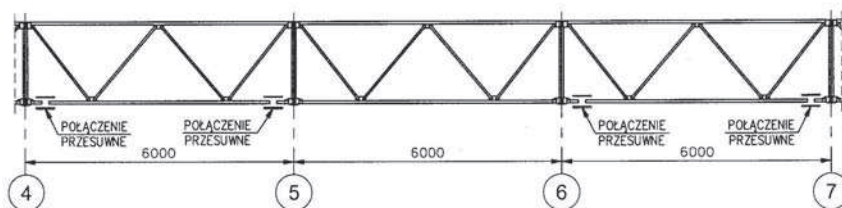
Stalowe konstrukcje wiązarów dachowych, stężone poprzecznie w sposób ciągły, są bardzo wrażli-

**Tabela 1.** Wyniki analiz statyczno-wytrzymałościowych wybranych prętów kratownic w osiach nr 8 i 9

Zakres analizy	Nr prętów kratownicy W1 w osi nr 8 wg rysunku 3 (pręt nr 15 dotyczy kratownicy W1 w osi nr 9)				
	12	13	15	16	17
Sily osiowe od obciążenia ciężarem własnym i śniegiem [kN]	555	-556	-6,8	-52	-209
Sily osiowe od nierównomiernych osiadań podpór [kN]	111	-127	-37	-26	-38
Wzrost sily osiowej w przecie	20%	23%	544%	50%	18%
Sprawdzenie warunku nośności wg [4] – obc. maksymalne + osiadania	1,11 > 1	0,98 < 1	1,57 > 1	0,98 < 1	0,90 < 1

**Tabela 2.** Wyniki analiz statyczno-wytrzymałościowych wybranych prętów stężeń poprzecznych wiązarów w nawie A – D, pomiędzy osiami nr 6–10

Zakres analizy	Nr pręta stężenia wg rysunku 4 oraz jego lokalizacja		
	pręt nr 1 osie 6–7	pręt nr 3 osie 8–9	pręt nr 4 osie 9–10
Sily osiowe od nierównomiernych osiadań podpór [kN]	-95	-60	-66
Sprawdzenie warunku nośności wg [4] od nierównomiernych osiadań	1,57 > 1	6,98 > 1	7,68 > 1



**Rys. 10.** Tymczasowa zmiana schematu statycznego stężeń poprzecznych wiązarów kratowych dachu

liwe na nierównomierne osiadania lub zróżnicowane podatności podpór tych wiązarów. Wrażliwość ta wynika z przestrzennej współpracy pionowych stężeń poprzecznych i wiązarów kratowych, powstającej niezależnie od założeń projektowych.

W analizowanym przypadku, niezamierzona przestrzenna współpraca wiązarów kratowych i ich ciągłych stężeń spowodowała przeciążenie i uszkodzenia wielu prętów kratownic oraz znaczne deformacje wyboczeniowe prętów stężeń. Konstrukcyjne dobieranie na stężenia porzeczne prętów o bardzo dużych smukłościach jest niekiedy korzystne, gdyż może ograniczyć przeciążenia kratownic dachowych w przypadku nierównomiernych osiadań ich podpór. Wyboczenie smukłych prętów stężeń poprzecznych już na początku procesu narastania nierównomiernych osiadań powoduje utratę ciągłości tych stężeń i znaczną redukcję efektu przestrzennej współpracy konstrukcji dachowej.

Przedstawione w [2] i w niniejszym artykule przypadki niekorzystnych efektów ciągłości stężeń poprzecznych wiązarów, mogą być pomocne w projektowaniu i w okresowych przeglądach stalowych konstrukcji dachowych.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Hotała E., Stan awaryjny stalowej wiaty składowiska kamienia wapiennego, XXII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 17–20 maja 2005, s. 699–706
- [2] Bodarski Z., Hotała E., Nietypowe uszkodzenie stalowej konstrukcji dachu hali przemysłowej, Konstrukcje Stalowe nr 14/1996, s. 1–4
- [3] Hotała E., Rykaluk K., Ignatowicz R., Awaryjne zagrożenie stalowej konstrukcji dachu hali widowiskowo-sportowej w Sopocie, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 26–29 maja 2009
- [4] PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [5] PN-B-06200:2002 Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe

## Inżynier budownictwa uprawniony do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej

Na mocy opublikowanej 30 września br. w Dzienniku Ustaw nr 161 pod poz. 1279 ustawy z 27 sierpnia 2009 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane oraz ustawy o gospodarce nieruchomościami inżynierowie budownictwa będą uprawnieni do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej. Ustawa rozszerza krąg osób uprawnionych do sporządzania świadectw o inżynierów posiadających uprawnienia budowlane.

Projekt nowelizacji dostosowuje polskie przepisy do prawa unijnego. Ma on na celu m.in. określenie sytuacji, w których powstaje obowiązek sporządzenia świadectwa charakterystyki energetycznej lokalu mieszkalnego i poszerza katalog osób, które będą mogły wystawiać taki dokument. Nowe regulacje będą miały pozytywny wpływ na rozwój budownictwa energooszczędnego i zwiększenie efektywności energetycznej budynków.

Znowelizowana ustawa Prawo budowlane zakłada, że świadectwa energetyczne budynków i lokali będą mogły wystawiać osoby, które ukończyły studia magisterskie lub inżynierskie na kierunkach: architektura, budownictwo, inżynieria środowiska, energetyka lub pokrewnych i które posiadają uprawnienia budowlane lub złożą z wynikiem pozytywnym egzamin albo ukończą odpowiednie studia podyplomowe.

Ponadto na osoby sporządzające świadectwa charakterystyki energetycznej budynków nałożono obowiązki związane z ich działalnością oraz udostępnianiem, sporządzaniem i przechowywaniem świadectw, a także wprowadzono obowiązek ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej za szkody wyrządzone w związku ze sporządzaniem świadectwa charakterystyki energetycznej. Obowiązek zawarcia ubezpieczenia OC powstaje w okresie 3 miesięcy od ogłoszenia ustawy.

Dla budynku oddawanego do użytkowania oraz dla budynku, lokalu mieszkalnego, a także części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową, dokonuje się oceny charakterystyki energetycznej w formie świadectwa charakterystyki energetycznej zawierającego określenie wielkości energii w kWh/m<sup>2</sup>/rok niezbędnej do zaspokojenia różnych potrzeb związanych z użytkowaniem budynku, a także wskazanie możliwych do realizacji robót budowlanych, mogących poprawić pod względem opłacalności ich charakterystykę energetyczną. Świadectwo charakterystyki energetycznej ważne jest 10 lat. Ocena charakterystyki energetycznej jest konieczna m.in. w przypadku umów, na podstawie których następuje przeniesienie własności: budynku, lokalu mieszkalnego (z wyjątkiem przeniesienia własności lokalu na podstawie umowy zawartej między osobą, której przysługuje spółdzielcze prawo do lokalu, a spółdzielnią mieszkaniową) lub będącej nieruchomością części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową. Od 1 stycznia 2009 roku budynki oddawane do użytku muszą mieć świadectwa energetyczne. W przypadku ich braku, nieruchomości nie będą mogły uzyskać pozwolenia na użytkowanie. Wymóg posiadania świadectwa jest konsekwencją nowelizacji ustawy Prawo budowlane, która weszła w życie 1 stycznia 2009 r. Z informacji zawartych w świadectwach wynikać ma m.in. ile energii elektrycznej zużyje potencjalnie budynek lub lokal. Świadectwo charakterystyki energetycznej ważne jest 10 lat.

Ustawa wchodzi w życie po upływie 14 dni od ogłoszenia, to jest 15 października 2009 r., z tym że art. 5 ust. 4a oraz art. 52 ust. 1 pkt 3 ustawy wchodzi w życie po upływie trzech miesięcy od ogłoszenia – 1 stycznia 2010 r.